

Le diagnostic rapide de pré-aménagement (Diarpa)

Un outil d'aide à l'aménagement des zones de bas-fonds

Aujourd'hui, les projets de mise en valeur des bas-fonds dépendent surtout d'opérateurs privés. Ils s'appuient sur une démarche participative, une conception souple et pragmatique et la prise en compte du fonctionnement physique et socio-économique du site. Cependant, les aménagements, anciens ou récents, ne sont pas toujours adaptés au milieu et peuvent être exploités différemment de ce qui était prévu. La création d'un outil d'aide à la décision pour le choix des aménagements est apparue indispensable : c'est l'objet du diagnostic rapide hydraulique (Diarpa), fondé sur l'évaluation et sur la combinaison de valeurs de sept indicateurs du milieu. Elaboré à partir du référentiel technique acquis par la recherche, le Diarpa a été éprouvé au sud du Mali pour 17 aménagements.

On estime très approximativement à 1,3 million de km² la superficie occupée par les bas-fonds en Afrique subsaharienne, correspondant à 5 % de la superficie totale des terres cultivables. La majeure partie des bas-fonds cultivables est concentrée dans une zone dont la pluviométrie est supérieure à 700 mm. En zone soudanienne, la dynamique d'aménagement et de mise en valeur des bas-fonds a débuté vers les années 60. L'absence de référentiel technique suffisant, autant en aménagement qu'en agronomie, n'a pas permis d'atteindre le niveau de performance attendu. Le type d'intervention a évolué avec le temps ; des opérateurs privés se sont progressivement substitués aux sociétés d'Etat pour assurer la conception et la réalisation des actions de mise en valeur. D'une façon générale, on peut dire que les

aménagements de bas-fonds ne sont pas toujours adaptés aux caractéristiques du milieu et sont exploités différemment de ce qui était prévu.

Pour mieux intégrer les contraintes agro-écologiques, la mise au point d'un outil d'aide à la conception des aménagements est apparue indispensable : « le diagnostic rapide hydraulique d'un bas-fond est une méthode opérationnelle de mesure ou d'évaluation de critères explicatifs du fonctionnement du milieu, qui, par leur combinaison, déterminent les caractéristiques du type d'aménagement adapté et qui évaluent son impact en terme de sécurisation hydrique » (LEGOUPIL et LIDON, 1993). Cet outil d'aide à la décision, élaboré à partir du référentiel technique acquis par la recherche, contribue au bon choix des aménagements ainsi qu'à l'intensification et à la diversification des productions agricoles.

B. LIDON

Cirad-tera, BP 5035,
34032 Montpellier Cedex 1, France
bruno.lidon@cirad.fr

J.-C. LEGOUPIL

Cirad-tera, BP 8680, Dakar, Sénégal
legoupil@sonatel.senet.net

F. BLANCHET

Eier, Ecole inter-Etats d'ingénieurs
de l'équipement rural
BP 7023, Ouagadougou 03, Burkina Faso

M. SIMPARA

Ier, Institut d'économie rurale
BP 258, Bamako, Mali

I. SANOGO

Ier, BP 258, Bamako, Mali

Les bas-fonds : des zones privilegiées, diverses et complexes

Bien que lieux privilégiés, les zones de bas-fonds sont difficiles à mettre en valeur du fait de deux contraintes majeures : leur extrême diversité et une difficile maîtrise de l'eau (figure 1).

Lieux privilégiés

Les bas-fonds sont des lieux privilégiés où se concentrent les écoulements en saison des pluies ; une agriculture moins aléatoire que sur les versants peut y être pratiquée. L'existence de nappes souterraines à faible profondeur facilite la satisfaction des besoins en eau potable des populations et des cheptels. Lorsque l'eau peut être mobilisée assez longtemps en saison sèche, l'arboriculture et, parfois, le maraîchage peuvent être développés. L'humidité naturelle de ces zones favorise également la constitution d'une réserve fourragère importante.

Ces atouts sont de plus en plus valorisés et le bas-fond est le lieu privilégié pour l'introduction de nouvelles productions (maraîchage, arboriculture) contribuant à une diversification des revenus et au développement d'activités agricoles féminines. Cependant, les moyens techniques et financiers des populations locales ne permettent pas l'utilisation optimale de ce milieu tant en terme de production et de valorisation économique du travail et des investissements, qu'en terme de durabilité des systèmes mis en place. Partie intégrante des systèmes agraires des sites où ils se trouvent, leur mise en valeur reste, sur le plan macro-économique, le plus souvent marginale par rapport aux systèmes de culture de plateau.

Extrême diversité

Chaque bas-fond est une entité complexe où inter-agissent de nombreux facteurs physiques, agricoles et sociaux tels que :

- le bassin versant, par sa surface, ses caractéristiques physiques et son couvert végétal ;
- la pluviométrie de la zone ;
- la diversité des situations topographiques le long de l'axe du bas-fond ;
- le type d'organisation rurale et le type de système agraire en place au niveau du terroir ;
- les potentialités agronomiques du site.

Difficile maîtrise de l'eau

Le principal obstacle technique auquel se heurte l'intensification de la mise en valeur des bas-fonds est la maîtrise de l'eau qui, sans aménagement, reste largement tributaire des aléas climatiques. Suivant les zones agro-écologiques, l'irrégularité du fonctionnement hydrologique prend des formes différentes : stress hydriques et crues dévastatrices en zone sahélienne, arrêt précoce des crues et sécheresse en zone soudanienne, problème d'excès d'eau en zone guinéenne. Sans une maîtrise minimale de l'eau, la lutte contre l'enherbement et les possibilités de

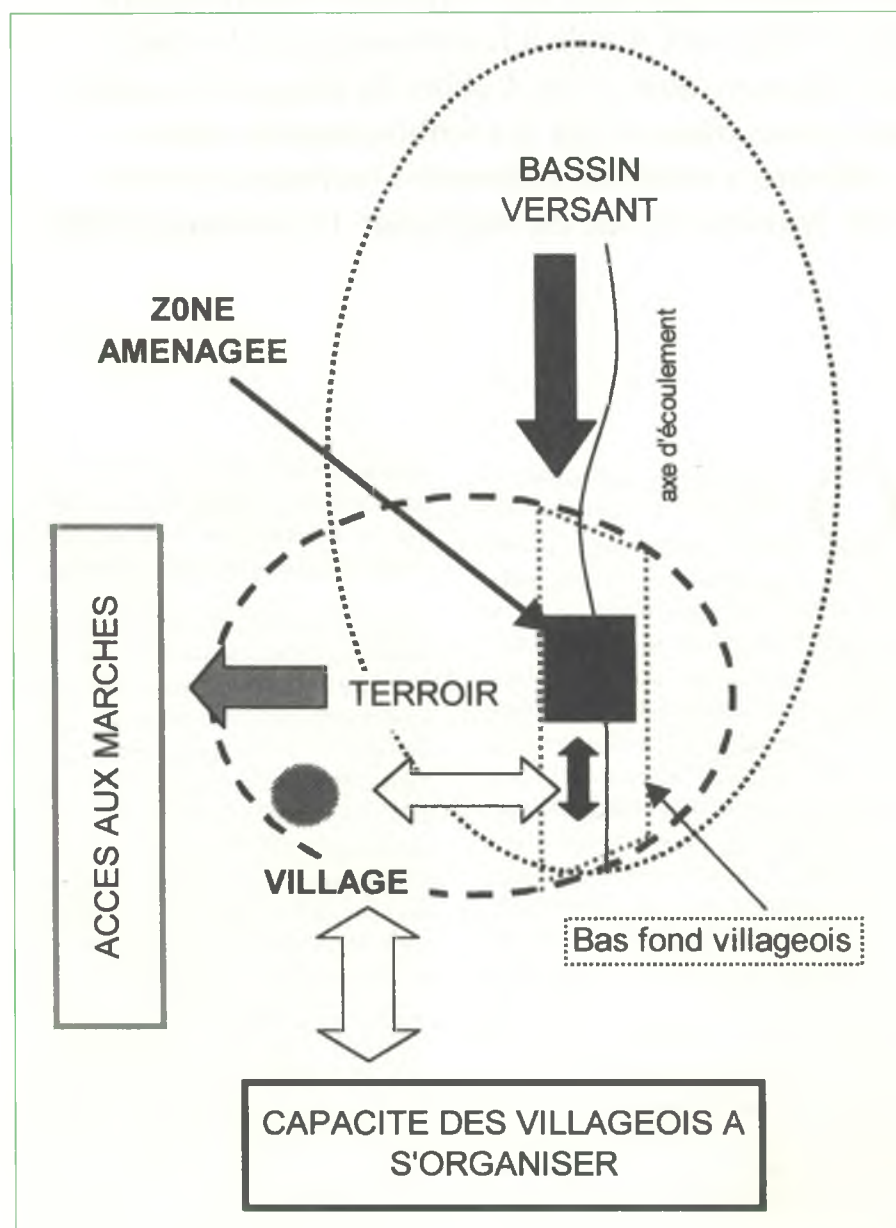


Figure 1. Place du bas-fond dans un terroir.

fertilisation restent limitées. Même lorsque des rendements de l'ordre de 3,5 t/ha de riz sont obtenus en milieu paysan, le risque hydrique hypothèque bien souvent la stabilité du système de culture. Quelle que soit la zone, l'intensification de la mise en valeur agricole d'un bas-fond suppose que l'on comprenne précisément son fonctionnement hydrologique et les risques liés : c'est un préalable à son aménagement.

Aménagement : les tendances actuelles

Le contexte économique et politique actuel est caractérisé par le désengagement des Etats, la décentralisation et la responsabilisation croissante des producteurs et de leurs organisations. On assiste à une évolution importante des opérations de mise en valeur des bas-fonds. Les opérateurs privés se substituent aux institutions publiques. Les aménagements ne sont plus décidés autoritairement mais procèdent d'une démarche participative : les communautés rurales bénéficiaires sont associées à la conception, au financement et à la réalisation des travaux. L'approche techniciste des aménagements a évolué vers une conception plus souple et pragmatique, s'appuyant en priorité sur le fonctionnement physique et socio-économique du site à aménager.

La conception des aménagements tend actuellement à privilégier les principes suivants :

- stabiliser les fonctionnements hydriques et limiter les risques pour encourager l'adoption de pratiques culturelles plus performantes et moins aléatoires ;
- utiliser au mieux la topographie naturelle et les axes d'écoulement, actuels et anciens, pour favoriser les apports d'eau et limiter les ouvrages coûteux ;
- simplifier au maximum les procédures de gestion des ouvrages ;
- prendre en compte la capacité des villages ou des communautés rurales

à participer à la conception, à l'exécution des travaux et à la gestion des aménagements ;

- respecter l'environnement naturel en intégrant ces aménagements dans un schéma directeur d'ensemble du réseau hydrographique qui préservera les droits des utilisateurs en aval.

Diarpa : l'application d'indicateurs pour un choix d'aménagement

« Le diagnostic rapide hydraulique d'un bas-fond est une méthode opérationnelle de détermination d'un type d'aménagement adapté au milieu concerné. Il recouvre à la fois la mesure et l'évaluation des indicateurs du milieu et l'analyse de la combinaison de leurs différentes classes de valeurs pour définir le type d'aménagement qui, pour un niveau d'investissement limité, sera le plus performant pour limiter les risques hydriques et sécuriser les productions agricoles » (LEGOUPIL et LIDON, 1993).

Un nombre réduit d'indicateurs a été sélectionné pour leur capacité explicative du fonctionnement hydraulique et leur simplicité de mesure. Des valeurs seuils de ces indicateurs ont été expérimentalement définies en fonction de leur incidence sur le choix du type d'aménagement, sur ses caractéristiques et sur son coût. Chaque type d'aménagement est caractérisé par une combinaison particulière des classes de valeurs de ces indicateurs.

Les indicateurs de choix des types d'aménagement

Le diagnostic rapide hydraulique est composé de sept indicateurs pédologiques, topographiques et hydrologiques dont les classes de valeur

correspondant aux types d'aménagement sont données au tableau 1 ; le diagnostic permet, en fonction de différentes combinaisons de ces indicateurs, de choisir parmi six types d'aménagement : diguettes déversantes en courbes de niveau, diguettes en courbes de niveau avec déversoirs, digues déversantes, digues déversantes avec tranchée d'étanchéité, ouvrages de diversion pour l'épandage des crues et ouvrages de dérivation pour la réinfiltration des écoulements.

Les quatre indicateurs simples, pédologiques et topographiques, sont directement mesurables sur le site. C'est le cas de la perméabilité des sols, de la présence et de la profondeur d'une couche imperméable, de la largeur et de la pente générale du bas-fond. Les trois indicateurs complexes, descriptifs du fonctionnement hydrologique, sont des résultantes de plusieurs mesures ou d'évaluation de paramètres, comme la crue décennale qui est fonction de la pluie décennale estimée, de la superficie et des caractéristiques du bassin versant.

La perméabilité du sol du bas-fond est le critère principal pour la définition du type d'aménagement. Une forte perméabilité conduit obligatoirement à des aménagements qui auront un effet de régulation de la nappe : un aménagement de type seuil déversant avec tranchée d'étanchéité bloquera la nappe ou un aménagement du type ouvrage de réinfiltration permettra de soutenir la nappe. Une faible perméabilité conduit à des aménagements dont l'objectif est d'améliorer la régularité de l'épandage des eaux de surface.

La prise en compte de la variabilité des écoulements de base est indispensable pour évaluer la faisabilité et la durabilité de l'aménagement. Les écoulements de base sont les écoulements de surface dus à la vidange de la nappe générale du bassin versant et du bas-fond. Sans eux, la réserve en eau en cas d'arrêt des pluies est limitée à celle stockée par l'aménagement.

Tableau 1. Les indicateurs du Diarpa et leurs seuils de valeur pour chaque type d'aménagement.

Type d'aménagement du bas-fond	Indicateurs						
	Pédologiques		Topo-graphiques	Hydrologiques			
	Perméabilité (m/s)	Profondeur d'une couche imperméable (m)	Pente longitudinale moyenne du bas-fond (%)	Axe d'écoulement	Débit de crue par m/l largeur de bas-fond (l/s)	Profondeur de la nappe d'infiltration du bas-fond début janvier (m)	Durée minimum de couverture des besoins en irrigation par les écoulements de base (mois)
Diguettes déversantes en courbes de niveau	$< 10^{-4}$	Indifférent	< 1	Pas d'axe d'écoulement	3	Indifférent	Indifférent
Diguettes en courbes de niveau avec ouvrage de déversement des crues	$< 10^{-4}$	Indifférent	< 1	Avec ou sans axe d'écoulement marqué	25	Indifférent	Indifférent
Seuils déversants sans masque d'étanchéité	$< 10^{-4}$	Indifférent	$< 0,5$	Axe d'écoulement marqué	250-600	Indifférent	Indifférent
Seuils déversants avec masque d'étanchéité	$> 10^{-4}$	< 2	$< 0,5$	Axe d'écoulement marqué	250-600	Indifférent	Indifférent
Ouvrages de diversion pour l'épandage des écoulements	$< 10^{-4}$	Indifférent	< 1	Axe d'écoulement encaissé	50	Indifférent	1 mois
Ouvrages de diversion pour réinfiltration et recharge des nappes	$> 10^{-4}$	Indifférent	< 1	Axe d'écoulement encaissé	50	< 2	1 mois

Une clé de détermination des types d'aménagement adaptés aux conditions du milieu est ainsi proposée à partir des combinaisons possibles des sept indicateurs du Diarpa (figures 2, 3). Les aménagements ne sont pas des standards. Sur chaque site, il s'agit d'adapter les caractéristiques de l'aménagement aux conditions techniques et socio-économiques spécifiques du milieu, en conservant les principes de conception.

Les types d'aménagement recommandés

Le diagnostic rapide conduit à recommander différents types d'aménagement en fonction des conditions du milieu. Les aménagements proposés constituent des solutions techniques répandues et éprouvées, prenant en compte la diversité du milieu.

Les diguettes en courbes de niveau

La vocation des diguettes en courbes de niveau est rizicole. Matérialisées par des levées de terre implantées selon les courbes de niveau, elles délimitent des casiers le plus souvent non planés sur lesquels les différences de cote du terrain naturel sont en général inférieures à 40 cm (tableau 2, figure 4). La surface d'emprise des diguettes est fonction de la pente longitudinale du bas-fond, ce qui limite leur implantation sur des sites dont la pente est inférieure à 1 %. Pour des pentes supérieures, la perte de surface agricole utile devient importante : en Afrique de l'Ouest, le rapport entre la pente transversale et la pente longitudinale, qui traduit l'encaissement de la gouttière d'écoulement du bas-fond, est le plus souvent de l'ordre de 2. Ainsi, une pente longitudinale de 2 % donne une surface d'emprise

des diguettes de l'ordre de 20 % de la surface totale aménageable.

Les diguettes permettent, au cours des périodes pluvieuses, le stock d'une lame d'eau de 10 à 40 cm qui sécurise l'alimentation hydrique du riz lors de sécheresse et qui freine le développement des adventices. Pour fonctionner correctement, elles doivent être implantées sur des bas-fonds non filtrants.

Les diguettes déversantes simples en courbes de niveau. Les crues sont évacuées par débordement sur la crête des diguettes, ce qui n'est possible sans dommage érosif que pour des lames déversantes moyennes inférieures à 1 cm, soit un débit de la crue décennale inférieur à 3 l/s par mètre linéaire de largeur du bas-fond (figure 5). De tels débits ne sont rencontrés que sur des bas-fonds dont l'axe d'écoulement n'est pas marqué. La principale contrainte liée à l'implantation des diguettes est la

[illegible]

Figure 2. Types d'aménagement conseillés en fonction des indicateurs descriptifs des caractéristiques du milieu : cas des bas-fonds filtrants.

TYPE D'AMENAGEMENT RECOMMANDE		Durée de couverture des besoins en irrigation par les écoulements (Ecb)		Profondeur de la nappe d'infil-trux début janvier		Débit de crue par ml de largeur de bas- fond en l/s						Axe d'écoulement			Pente longitudinale en %			Profondeur d'une couche imperméable		Perméabilité m/s	
		$T_{ecb} > 1$ mois	$T_{ecb} < 1$ mois	$P > 2m$	$P < 2m$	$Q_{10} > 600$	$250 < Q_{10} \leq 600$	$50 < Q_{10} \leq 250$	$25 < Q_{10} \leq 50$	$3 < Q_{10} \leq 25$	$Q_{10} \leq 3$	pas marqué	marqué	encaissé	$i < 0,5$	$0,5 < i \leq 1$	$i > 1$	$H_{imp} \leq 2m$	$H_{imp} > 2m$	$K > 10^{-4}$	$K \leq 10^{-4}$
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
DIGUETTES DEVERSANTES		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
DIGUETTES AVEC DEVERSOIRS (T1)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
DIGUETTES AVEC DEVERSOIRS (T2)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
OUVRAGE DE DIVERSION		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
DIGUETTES AVEC DEVERSOIRS (T2)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
SEUIL DEVERSANT (T1)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
SEUIL DEVERSANT (T2)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
OUVRAGE DE DIVERSION		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
SEUIL DEVERSANT (T1)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
SEUIL DEVERSANT (T2)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
DIGUETTES DEVERSANTES		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
DIGUETTES AVEC DEVERSOIRS (T1)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
SEUIL DEVERSANT (T1)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
SEUIL DEVERSANT (T2)		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		
aménagement déconseillé		↑	↑									↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑		

Figure 3. Types d'aménagement conseillés en fonction des indicateurs descriptifs des caractéristiques du milieu : cas des bas-fonds peu filtrants.

Tableau 2. Caractéristiques des aménagements de type diguettes en courbes de niveau.

Diguettes en courbes de niveau	
Déversantes	Avec déversoir d'évacuation
Conception	
Diguettes en courbes de niveau sans ouvrage de régulation de la hauteur de l'eau dans le casier	Diguettes de régulation avec ouvrage de vidange ou de régulation de la hauteur de l'eau dans le casier
Nivellement facultatif, lame d'eau variant de 0,1 à 0,4 m	
Sécurisation de l'alimentation en eau de la culture par le volume d'eau stocké entre 2 diguettes	
Critères favorables	
Rapport débit de crue décennale sur largeur du bas-fond < 3 l/s/ml	Rapport débit de crue décennale sur largeur du bas-fond < 25 l/s/ml
Zone inondable sans axe d'écoulement marqué	Zone inondable avec axe d'écoulement marqué
La lame d'eau déversant sur les diguette doit être inférieure à 1 cm	La lame d'eau déversant sur les ouvrages doit être inférieure à 10 cm
Sites favorables	
Zone de piémont, glacis de raccordement	Zone de raccordement, tête du bas-fond
Présence d'un écoulement de base pour sécuriser l'alimentation en eau des cultures en cas de déficit pluviométrique	
Contraintes de gestion	
Risque d'excès d'eau en début de campagne, difficulté à planifier le calendrier cultural	
Nécessité de réaliser des brèches pour faciliter la vidange de l'aménagement dans le cas où il n'existe pas d'ouvrage de vidange	
Réfection des diguettes avant chaque campagne	
Nécessité d'entretien de l'ensemble des diguettes pour limiter les risques de brèches en cascade	
Limites d'impact	
Faible durée de sécurisation de l'alimentation en eau de la culture (1 semaine) en l'absence d'écoulement de base	
L'aménagement en courbes de niveau ne tient pas compte du parcellaire existant	
Vocation	
Limitation des risques pour une culture de saison des pluies	
Intensification de la riziculture grâce à une meilleure maîtrise de l'eau	
Exemple	
nord du Ghana, région de Tamalé	
Low risk Project (Banque mondiale)	Site de Yepelugu

nécessité de modifier le parcellaire existant pour l'adapter à la géométrie des casiers.

Les diguettes déversantes avec déversoirs latéraux ou centraux. Les diguettes en courbes de niveau avec déversoirs centraux ou latéraux ont une vocation rizicole. Elles jouent

un rôle identique à celui des diguettes déversantes simples. La réalisation de zones de déversement revêtues de perrés non maçonnées permet d'augmenter le débit des crues évacuées. Ces déversoirs, implantés au niveau des ailes de la diguette pour en minimiser les coûts, supportent une lame déversante

maximale de 10 cm ; cette hauteur correspond, lorsque la diguette est déversante sur toute sa longueur, à l'évacuation d'un débit de crue décennale de l'ordre de 50 l/s par mètre linéaire de largeur du bas-fond. Pratiquement, pour des problèmes de coût de réalisation, la zone de déversement ne peut

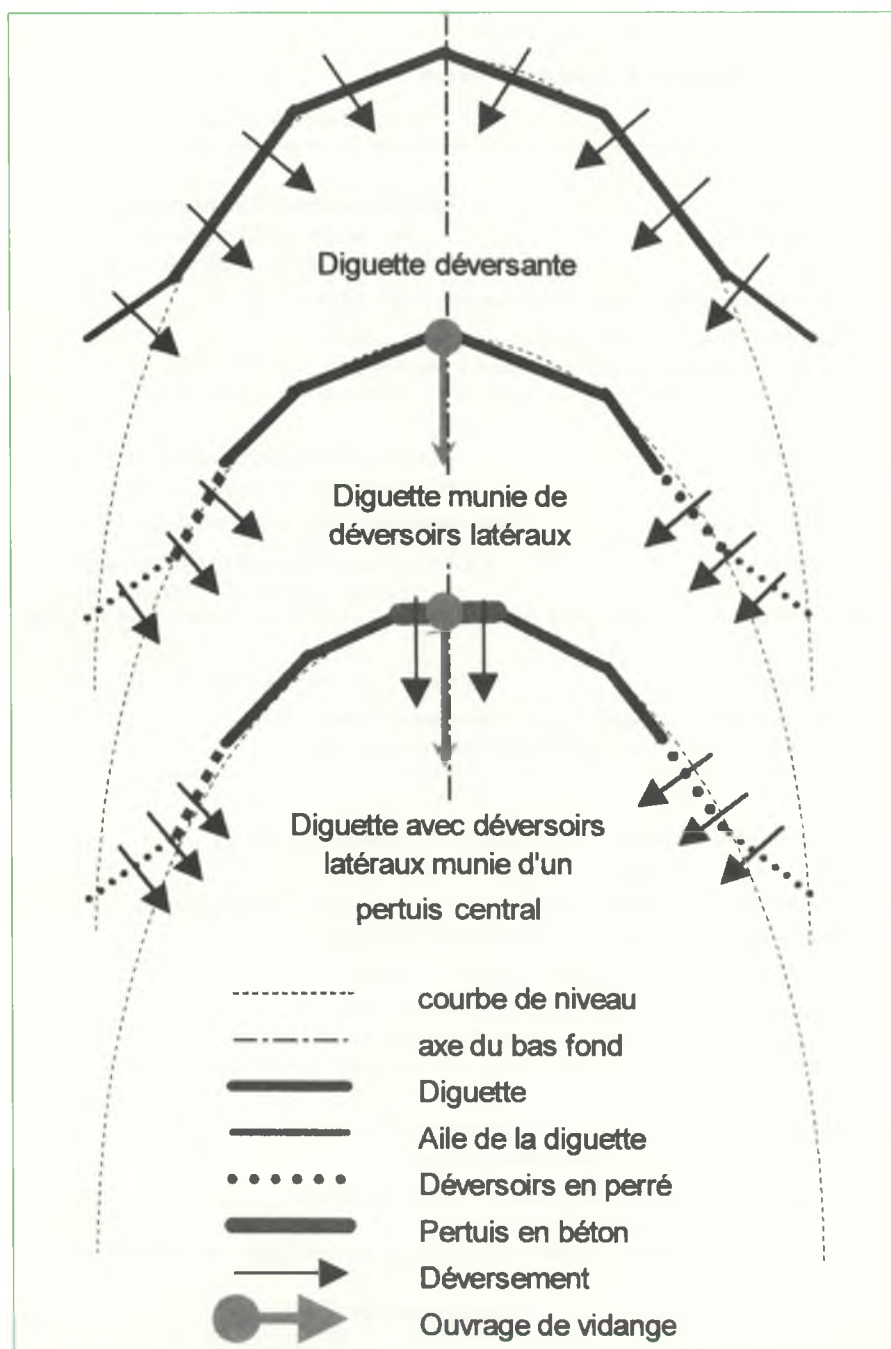


Figure 4. Aménagement de type diguettes en courbes de niveau.

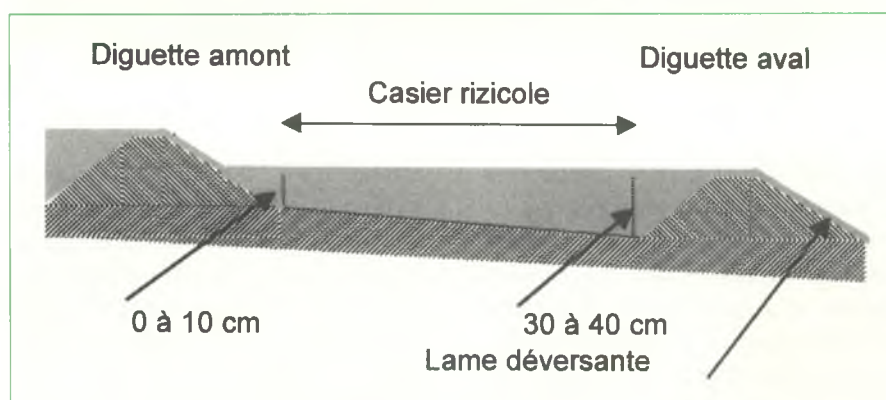


Figure 5. Schéma de fonctionnement de diguettes déversantes en courbes de niveau.

dépasser la moitié de la longueur d'une diguette et, de ce fait, les débits acceptables ne sont que de 25 l/s par mètre linéaire de largeur de bas-fond. Pour éviter l'asphyxie du riz en début de cycle, chaque diguette doit être munie d'un ouvrage de vidange (tube PVC ou en poterie) placé au niveau de l'axe naturel d'écoulement du bas-fond.

Ce type de diguette (type 1), avec déversoirs latéraux, est adapté aux bas-fonds non filtrants, sans axe d'écoulement marqué et dont la pente est inférieure à 1 %. Lorsque l'axe d'écoulement est marqué, la diguette doit être renforcée à ce niveau par un ouvrage d'évacuation maçonné (type 2).

La principale contrainte d'aménagement est la nécessité de modifier le parcellaire existant pour l'adapter à la géométrie des casiers. On a constaté que ce problème n'est facilement résolu que pour des pentes inférieures à 1 %.

Les digues déversantes

Les digues déversantes ont essentiellement une vocation rizicole (tableau 3, figure 6). Une digue déversante est constituée d'un muret (seuil) conçu comme un microbarrage, d'une hauteur de 60 à 100 cm au-dessus du terrain naturel. Elle joue le rôle de déversoir pour l'évacuation des crues. Son dimensionnement est calculé en fonction de la superficie à sécuriser, de la topographie du site et de ses caractéristiques hydrologiques. Une retenue d'eau est créée en saison des pluies par la digue et un pertuis à batardeaux permet de réguler la hauteur d'eau dans la retenue pour l'adapter au stade de végétation du riz. Les digues déversantes sont construites en béton armé ou cyclopéen. Lorsque le débit de la crue décennale est inférieur à 250 l/s par mètre linéaire de largeur du bas-fond (correspondant à une lame déversante de 0,3 m), les digues (type 1) sont construites avec une protection anti-érosive formée d'un massif aval en enrochement (ou perré). Lorsque le débit de la crue décennale est supérieur à 250 l/s, la

Tableau 3. Caractéristiques des aménagements de type digue déversante.

Digues déversantes	
Avec masque d'étanchéité	Sans masque d'étanchéité
Caractéristiques de conception	
Seuil déversant en béton pour l'évacuation des crues avec un masque d'étanchéité sous les ouvrages (seuils et digues de raccordement aux versants) permettant d'arrêter les pertes par infiltration	Seuil déversant en béton pour l'évacuation des crues
La surface sous influence du seuil est inondée par une lame d'eau dont le maximum est 0,8 m	
Sécurisation de l'alimentation en eau de la culture par le volume d'eau retenu par la retenue et le blocage de la nappe	Sécurisation de l'alimentation en eau de la culture par le volume d'eau retenu par la retenue
Critères favorables	
Couche imperméable à moins de 2 m de profondeur permettant le raccordement avec le masque d'étanchéité	Bas-fonds peu filtrants
Axe d'écoulement peu encaissé	
Pente longitudinale du bas-fond inférieure à 5 ‰	
La lame d'eau déversante sur le seuil doit rester inférieure à 0,25 m	
Sites favorables	
Petits bas-fonds présentant un début d'entaille	
Sites où l'écoulement de la nappe d'inéoflux est freinée par des seuils souterrains naturels	
Les bas-fonds les plus favorables sont ceux où des aménagements peuvent être implantés en cascade	
Présence d'un écoulement de base permettant de soutenir l'alimentation en eau de la retenue	
Contraintes de gestion	
Nécessité d'adapter les itinéraires techniques en fonction de la hauteur de la lame d'eau sur les parcelles	
Difficulté de gérer la retenue pour satisfaire les besoins en eau des parcelles conduites suivant des itinéraires techniques différents	
La présence d'une retenue d'eau entraîne des conflits d'utilisation (agriculture, pêche, élevage)	
Limites d'impact	
L'aménagement a un impact sur une surface limitée du bas-fond	
Globalement positif, mais introduction de fortes hétérogénéités par rapport à la situation antérieure et entre les parcelles aménagées	
Vocation	
Réduction des risques pour une riziculture de saison des pluies	
Augmentation des surfaces des cultures de contre saison par exploitation de la nappe	
Intensification de la riziculture par une sécurisation de l'alimentation hydrique	

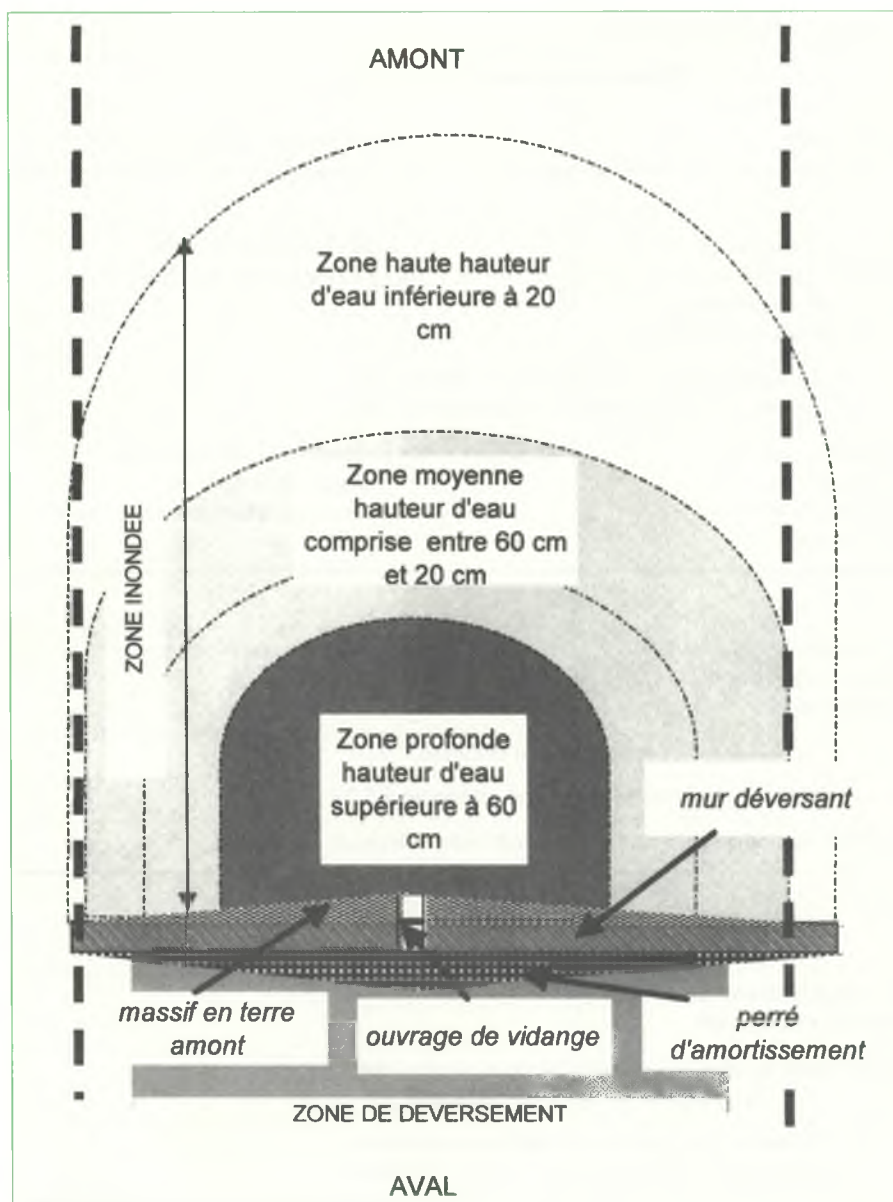


Figure 6. Aménagement de type digue déversante.

protection anti-érosive des digues (type 2) nécessite un bassin de dissipation revêtu.

Les digues déversantes sans masque d'étanchéité. Les digues déversantes sans masque d'étanchéité sont recommandées pour des bas-fonds non filtrants sur lesquels les pertes par infiltration sont faibles (figure 7). La principale contrainte est la nécessité d'établir et de respecter des règles de gestion de la retenue. L'augmentation de la hauteur de la digue permet d'accroître les surfaces cultivables, mais une retenue trop profonde, supérieure à 0,8 m, rend difficile la riziculture et nécessite

une étroite coordination entre gestion hydraulique et mise en valeur agricole. Le dimensionnement d'une digue de retenue résulte d'un équilibre entre la hauteur de la digue (seuil déversant) et la surface cultivable, ce qui conduit à ne préconiser ce type d'aménagement que lorsque la pente longitudinale du bas-fond est inférieure à 0,5 %.

Les digues déversantes avec masque d'étanchéité. Lorsque le terrain est perméable (bas-fonds filtrants), les digues déversantes doivent être munies d'une tranchée d'étanchéité pour limiter les pertes par infiltration

(figure 8). Le masque d'étanchéité est constitué par une tranchée remplie d'argile compactée. Sa réalisation nécessite l'utilisation d'engins lorsque l'horizon imperméable est situé à plus de deux mètres de profondeur. L'efficacité hydraulique de l'ouvrage implique que cette tranchée soit étroitement raccordée à l'horizon imperméable. Les contraintes sont du même type que celles relatives aux digues déversantes sans tranchée d'étanchéité.

Les ouvrages de diversion

L'aménagement comprend un ouvrage de diversion et un réseau d'irrigation (tableau 4, figure 9). L'ouvrage de diversion est constitué d'un seuil en béton (figure 10), muni de batardeaux, implanté en travers du lit majeur du marigot. Ce seuil permet, en relevant la ligne d'eau dans le marigot, d'alimenter un canal d'irrigation dont la prise est située en amont de l'ouvrage et de dominer la zone à sécuriser.

Les ouvrages de diversion pour l'épandage des crues. Ces ouvrages sont le plus souvent à vocation rizicole. Dans le cas d'un aménagement de diversion pour l'épandage des crues, l'ouvrage permet d'assurer l'alimentation en eau par gravité des parcelles lorsque le tirant d'eau dans le marigot devient trop faible pour le permettre naturellement. Dans le cas des petites plaines, dont la largeur de la zone aménageable est inférieure à 300 m, le réseau d'irrigation est constitué d'un arroseur drain en remblai-déblai, le plus souvent implanté sur l'axe de drainage du lit majeur. Dans le cas de zones aménageables plus larges, le réseau comprend deux canaux arroseurs, respectivement implantés sur le bourrelet de berge et au niveau du glaciais de raccordement entre le bas-fond et l'interfluve. Chacune des parcelles est endiguée et grossièrement planée.

Les sites favorables sont de petites plaines non filtrantes sur lesquelles l'axe d'écoulement est encaissé et

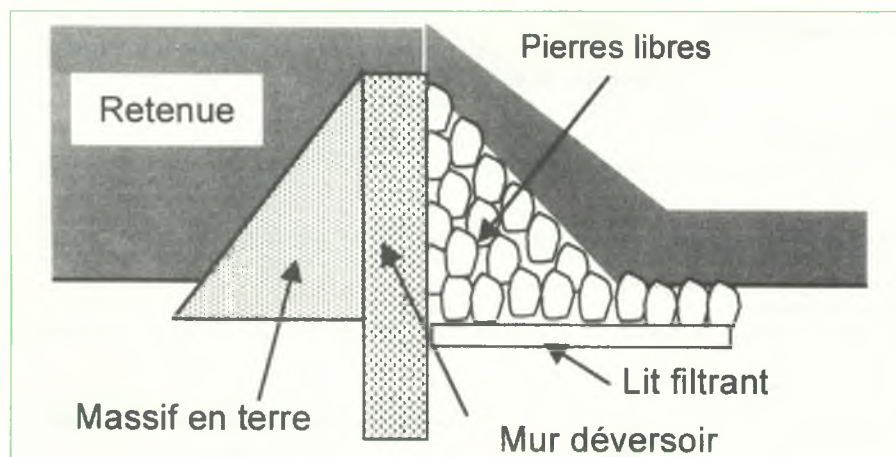


Figure 7. Schéma d'une digue déversante sans tranchée d'étanchéité.

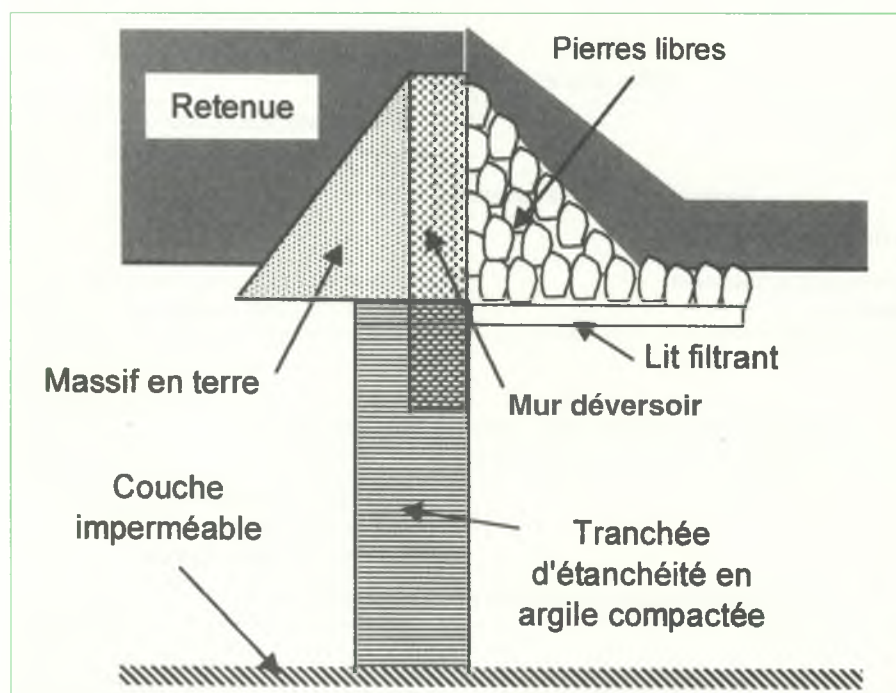


Figure 8. Schéma d'une digue déversante avec tranchée d'étanchéité.

bordé de bourrelets de berge qui permettent de minimiser les travaux d'endiguement en amont de l'ouvrage. L'ouvrage doit être dimensionné de telle sorte qu'il n'aggrave pas l'inondation pendant les crues. Le plus souvent, ces petites plaines sont situées en amont de rétrécissement du bas-fonds. Lors de crues importantes, l'ensemble du bas-fonds est noyé de telle sorte que des débits de l'ordre de 600 l/s par mètre linéaire ne provoquent pas de dégâts notables. Ce type d'ouvrage ne permettant pas le stockage de l'eau, il

est indispensable que des écoulements persistent après l'arrêt des pluies et que leur débit soit suffisant pour assurer les besoins en eau du périmètre pendant au moins un mois.

Les ouvrages de dérivation pour le soutien de la nappe. En saison des pluies, les ouvrages de dérivation pour le soutien de la nappe sont le plus souvent rizicoles. En saison sèche froide, ils facilitent l'irrigation, à partir de la nappe, de cultures de contre-saison (essentiellement maraîchage). Ce type d'aménagement est

recommandé en bas-fonds filtrants. Il est constitué d'un seuil en béton implanté en travers de l'axe d'écoulement du marigot. Le seuil permet de relever le niveau de la ligne d'eau dans le marigot et d'alimenter un ou plusieurs canaux d'infiltration dont l'efficacité est d'autant plus grande que le bas-fond est filtrant. On utilise la topographie naturelle et les axes d'écoulements, actuels et anciens, pour implanter les canaux d'infiltration et limiter les coûts d'aménagement.

Pendant la saison des pluies, l'aménagement pallie aux variations du débit du marigot en minimisant les fluctuations de la nappe et en permettant de conserver une lame d'eau dans les parcelles rizicoles. En contre-saison, par la réinfiltration des derniers écoulements, l'aménagement retarde la descente de la nappe, ce qui facilite l'irrigation des cultures à partir de puits.

Estimation de l'ordre de grandeur des coûts des aménagements

Chaque opération de développement possède ses propres règles de financement et ses limites d'investissement pour les aménagements. En zone soudanienne, le coût d'un aménagement est très largement dépendant des conditions du milieu, particulièrement (tableau 5) la topographie du site — représentée par les critères de pente longitudinale du bas-fond, de largeur et de profil transversal de la gouttière d'écoulement — et le débit des écoulements de surface que l'ouvrage d'aménagement devra évacuer en période de crue, représenté par le critère hydrologique de débit de crue par mètre de largeur du bas-fond.

L'appréciation de ces critères du diagnostic permet d'évaluer à priori le coût probable et de l'intégrer dans une analyse socio-économique

Tableau 4. Caractéristiques des aménagements de type diversion.

Ouvrages de diversion	
Réinfiltration, recharge nappe	Irrigation
Caractéristiques de conception	
Recharge de la nappe par la mise en eau de canaux d'infiltration	Sécurisation par irrigation de surface
Sécurisation par stabilisation des régimes hydriques dans les différentes zones du bas-fond	
Critères favorables	
Forte perméabilité des sols	Faible perméabilité pour favoriser l'efficience de l'irrigation
Présence d'une nappe d'inféoflux affleurante au cours de la saison des pluies	Topographie permettant l'implantation de canaux dominant les zones à irriguer
Un écoulement de base important, régulier et durable est indispensable	
Sites favorables	
Petites plaines inondables	
Nappe d'inféoflux pérenne	La surface dominée par les ouvrages est importante
Largeur du bas-fond supérieure à 200 m	
Couche imperméable à plus de 2 m de profondeur	
Utilisation possible d'anciens axes d'écoulement pour l'infiltration	Utilisation et renforcement possible des axes naturels de drainage
Contraintes de gestion	
Prise de décision collective pour gérer les ouvrages de prise, en fonction des calendriers culturels et des agriculteurs	
	Contraintes particulières liées à l'équité de la distribution de l'eau par un réseau de surface
Problèmes classiques d'entretien de réseaux collectifs	
Limites d'impact	
Le degré de sécurisation apporté par l'aménagement est fonction du débit et de la permanence de l'écoulement de base	
	L'irrigation de surface conduit à un remembrement du parcellaire sur la zone aménagée
Vocation	
Possibilités de diversification du système de culture en saison des pluies (riz, tubercules, bananes...)	Utilisation du réseau de surface pour l'irrigation en contre-saison si l'écoulement est suffisant
Développement des cultures maraîchères de contre-saison à partir de puits	
Intensification de l'arboriculture par une sécurisation de l'alimentation à partir de la nappe	
Exemple	
Sud du Mali	
Site de M'Peniasso	Sites de Longorolla, Samogosso

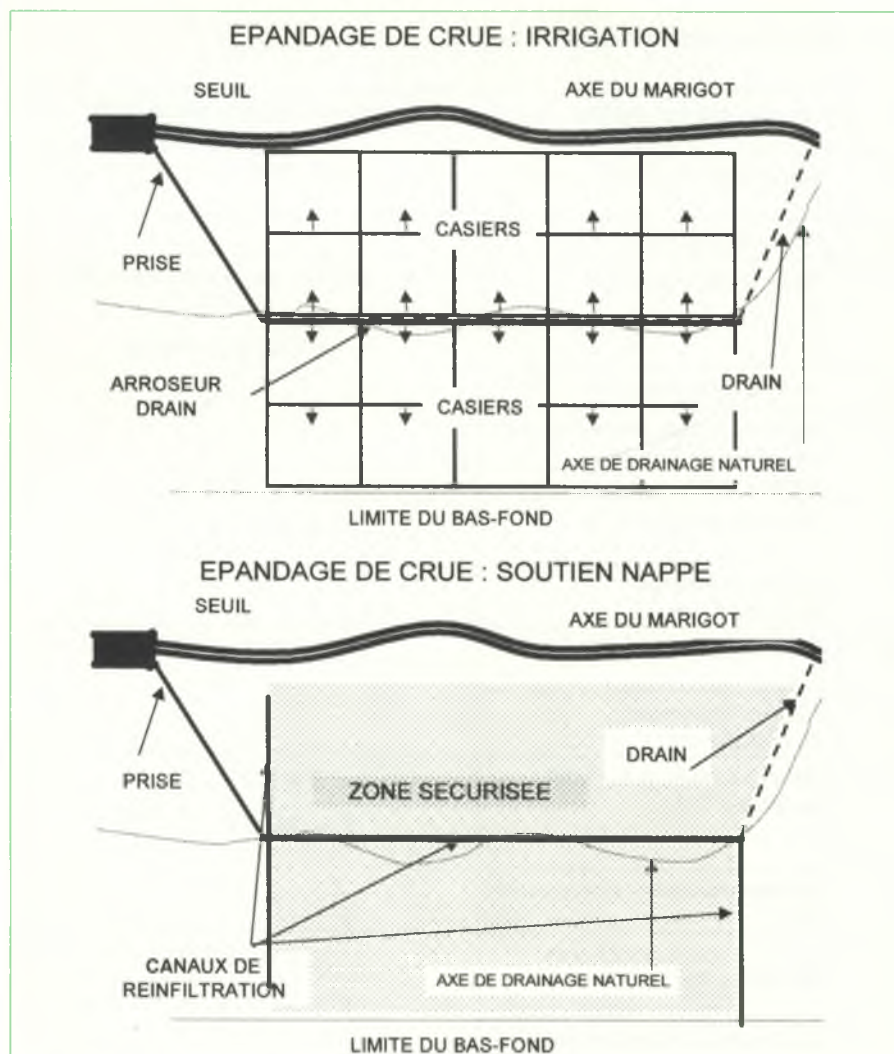


Figure 9. Aménagement de type diversion.

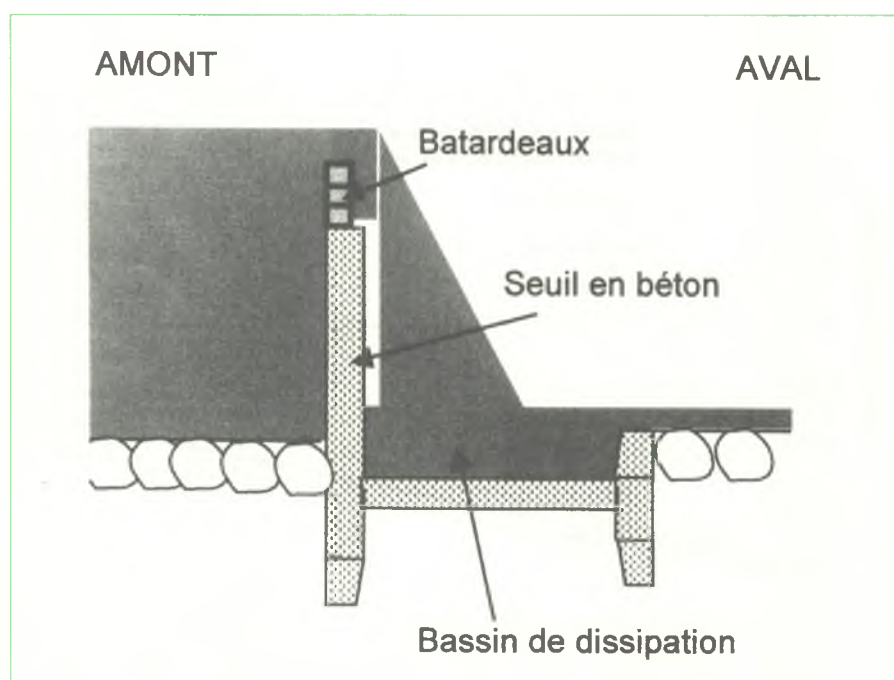


Figure 10. Schéma d'un seuil type.

tenant compte des impacts attendus de l'aménagement sur l'intensification et la diversification des cultures et sur la capacité des bénéficiaires à supporter les investissements et les charges récurrentes. La décision économique de ne pas aménager un bas-fond n'exclut pas une intervention d'appui à sa mise en valeur si l'évaluation des risques en montre la possibilité.

L'application du Diarpa, avec des critères dont les valeurs seuils sont adaptables en fonction d'une limite d'investissement, conduit à raisonner les décisions d'aménagement en fonction de critères économiques différents selon les coûts de l'intervention et les nouveaux revenus agricoles autorisés par le niveau de maîtrise de l'eau.

Coût des aménagements en diguettes déversantes simples

Le coût d'un aménagement en diguettes déversantes est fonction des pentes longitudinale et transversale du bas-fond. Plus les pentes sont importantes, plus il y a de diguettes et plus le coût est important. Pour l'Afrique de l'Ouest, et sur la base de prix relevés en 1998, les coûts des aménagements évalués par le Diarpa varient de 100 000 à 400 000 francs CFA par hectare en fonction de la topographie du bas-fond (figure 11).

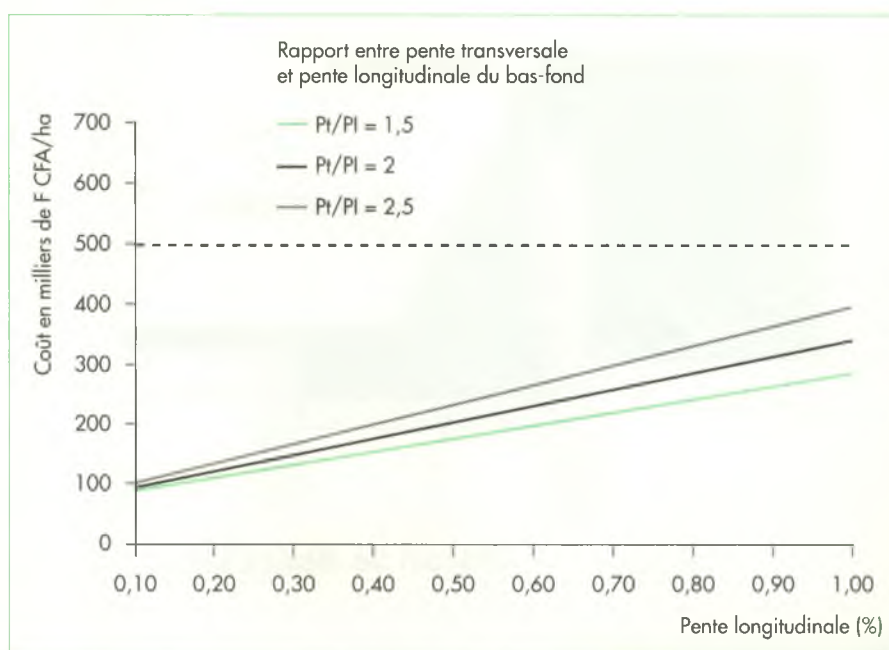
Coût des aménagements en diguettes avec déversoirs latéraux revêtus d'un perré

Le coût d'un aménagement en diguettes avec déversoirs est fonction de la topographie du bas-fond, qui détermine le nombre de diguettes. Il dépend aussi de l'importance des déversoirs nécessaires pour évacuer les débits de crue. Suivant les prix de 1998 des travaux et des matériaux, les coûts vont de 100 000 à 700 000 Francs CFA par hectare (figure 12).

Tableau 5. Estimation du coût d'aménagement par hectare (en milliers de francs CFA).

Type d'aménagement	Paramètres pris en compte		Formule d'estimation du coût (milliers de Fcfa/ha)
Diguettes déversantes en courbes de niveau	P_t	Pente transversale (%)	$C = (108,85.(P_t/p_l) + 56,77) \times P_l + 66$
	P_l	Pente longitudinale (%)	
Diguettes en courbes de niveau munies de déversoirs.	P_t	Pente transversale (%)	$C = (88,42 \cdot (P_t/p_l) + A) \times P_l + 66$ avec $A = 9,05 Q_{10} + 46,12$
	P_l	Pente longitudinale (%)	
	Q_{10}	Débit de la crue décennale (l/s) par mètre de largeur de bas-fond	
Digue déversante sans masque d'étanchéité	P_l	Pente longitudinale (%)	$C = 3\,229,8 \cdot h^{-0,1582} \cdot P_l$
	h	Hauteur maximum de la digue (m)	
Digue déversante avec masque d'étanchéité	P_l	Pente longitudinale (%)	$C = 3\,825,5 \cdot h^{-0,786} \cdot P_l$
	h	Hauteur maximum de la digue (m)	
Seuil de dérivation pour l'épandage des crues (largeur de la zone aménagée 200 m, profondeur lit 2 m, largeur 6 m)	D_{30}	Débit 30 jours après l'arrêt des pluies (l/s)	$S = 0,27 \cdot D_{30}$ $C = 2490,8 \cdot S^{-0,309}$
	S	Surface maximum aménageable (ha)	
Seuil de dérivation pour le soutien de la nappe (largeur de la zone aménagée 200 m, profondeur lit 2 m, largeur 6 m)	D_{30}	Débit 30 jours après l'arrêt des pluies (l/s)	$S = 0,27 \cdot D_{30}$ $C = 2811,9 \cdot S^{-0,423}$
	S	Surface maximum aménageable (ha)	

Figure 11.
Coûts des aménagements en diguettes déversantes simples. (Pour des raisons de place, le graphique ne va que jusqu'à 400 000 francs CFA et 1 %, alors que le texte mentionne 2 % et 750 000 francs CFA).



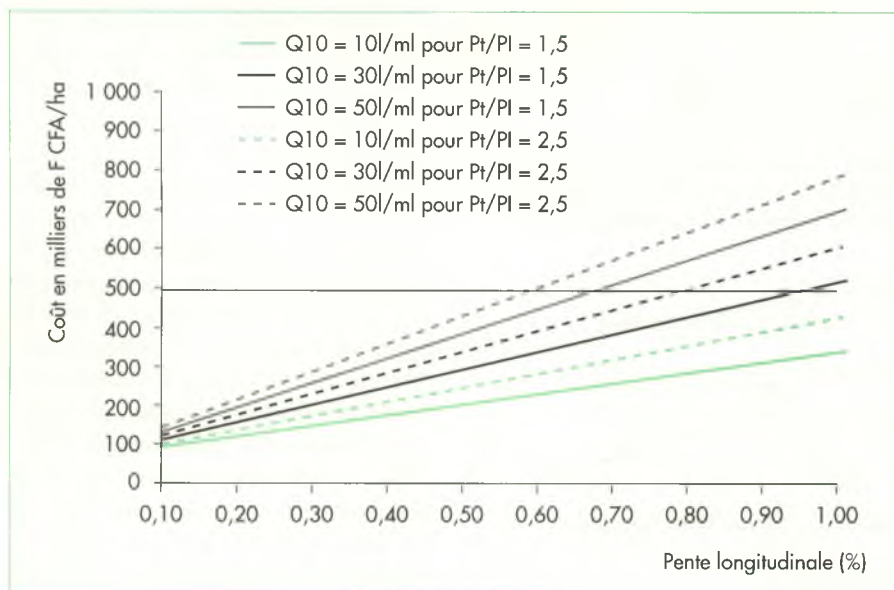


Figure 12. Coûts des aménagements en diguettes avec déversoir.

Ce coût varie selon les débits de crue à évacuer, la pente longitudinale de l'axe du bas-fond et son encaissement (rapport entre la pente transversale et la pente longitudinale). Les diguettes avec déversoirs sont recommandées pour les bas-fonds dont la pente longitudinale ne dépasse pas 1 % et lorsque les débits de la crue décennale ne dépassent pas 25 l/s par mètre linéaire. Il est possible techniquement d'aménager des bas-fonds par des diguettes avec déversoirs pour des pentes supérieures ou avec des débits allant jusqu'à 50 l/s, mais les coûts deviennent rapidement très élevés dès que la pente longitudinale est supérieure à 0,5 %.

Coût des aménagements de type digue déversante

Le coût par hectare d'une digue déversante dépend de la pente générale du bas-fond et du volume de l'ouvrage, qui est fonction de la hauteur de l'ouvrage et de la largeur du bas-fond. Sans tranchée d'étanchéité, le coût à l'hectare varie (figure 13) entre 300 000 et 2 000 000 francs CFA en fonction de la hauteur de la digue mais, surtout, en fonction de la pente longitudinale de l'axe du bas-fond. La présence d'une tranchée

d'étanchéité double les coûts pour des hauteurs de digue inférieures à 50 cm.

Coût des aménagements avec des ouvrages de dérivation pour épandage de crue

L'aménagement comprend un réseau d'irrigation et un ouvrage de dérivation qui en permet l'alimentation en eau. Le coût de l'ouvrage lui-même dépend des caractéristiques du site d'implantation, en particulier la largeur et la profondeur du lit du marigot alors que celui du réseau d'irrigation dépend de la largeur du bas-fond, qui peut conduire à creuser deux canaux d'irrigation. L'estimation des coûts a été faite dans des conditions moyennes — largeur entre axe du marigot et versant ne dépassant pas 200 m, aménagement possible d'une seule rive, profondeur du marigot de l'ordre de 2 m pour une largeur de 6 m et surface aménagée maximale de 20 ha. L'objectif de ce type d'aménagement étant de sécuriser l'alimentation en eau du riz durant un mois après l'arrêt des pluies, le débit d'équipement nécessaire a été évalué pour des besoins en eau du riz de

l'ordre 4 mm/jour et une efficacité d'irrigation de 50 %. Le débit nécessaire du marigot a été estimé en supposant que l'aménagement n'utilise que 25 % des écoulements de base disponibles. Le coût à l'hectare varie de 1 200 000 francs CFA pour 20 ha (18,5 l/s de débit dérivé) à 1 900 000 francs CFA pour 5 ha (4,6 l/s de débit dérivé) (figure 14).

Coût des aménagements avec des ouvrages de dérivation pour soutien de la nappe

L'estimation du coût à l'hectare des aménagements de dérivation pour le soutien de la nappe a été faite pour des conditions moyennes identiques au cas précédent. Les besoins en eau ont été évalués afin que la nappe reste affleurante un mois après la fin de la saison des pluies, avec une vitesse de descente moyenne de la nappe de 2 cm/jour, une porosité de 20 % et une efficacité d'application de 50 %. Le coût à l'hectare varie de 800 000 francs CFA pour 20 ha (18,5 l/s de débit dérivé) à 1 500 000 francs CFA pour 5 ha (4,6 l/s de débit dérivé) (figure 15).

La validation du Diarpa pour des aménagements en digues déversantes

La validation régionale du Diarpa pour des aménagements en digues déversantes a été effectuée au sud du Mali dans la région de Bougouni où 177 aménagements de bas-fonds ont été inventoriés. La quasi-totalité de ces aménagements sont des digues déversantes de petite taille. Les superficies aménagées ne dépassent pas 10 ha pour des bassins versants le plus souvent inférieurs à 50 km².

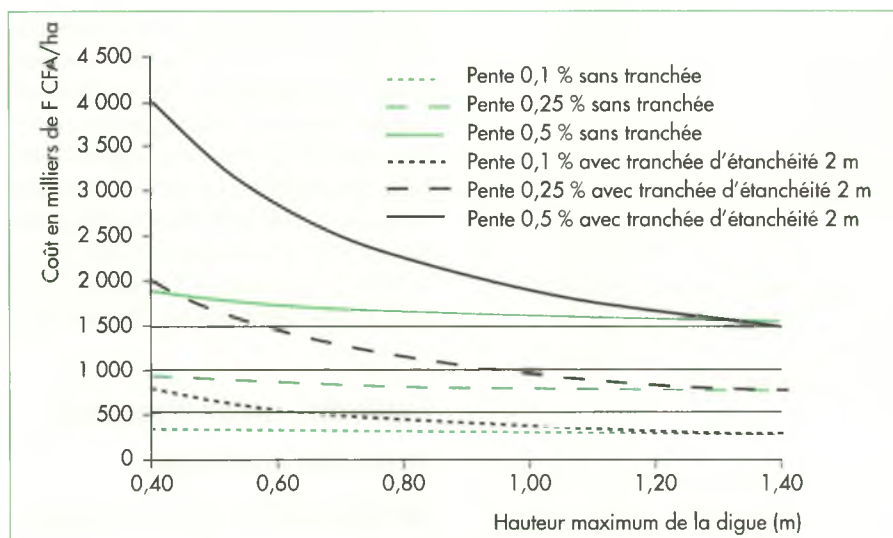


Figure 13. Coûts des aménagements en digues déversantes.

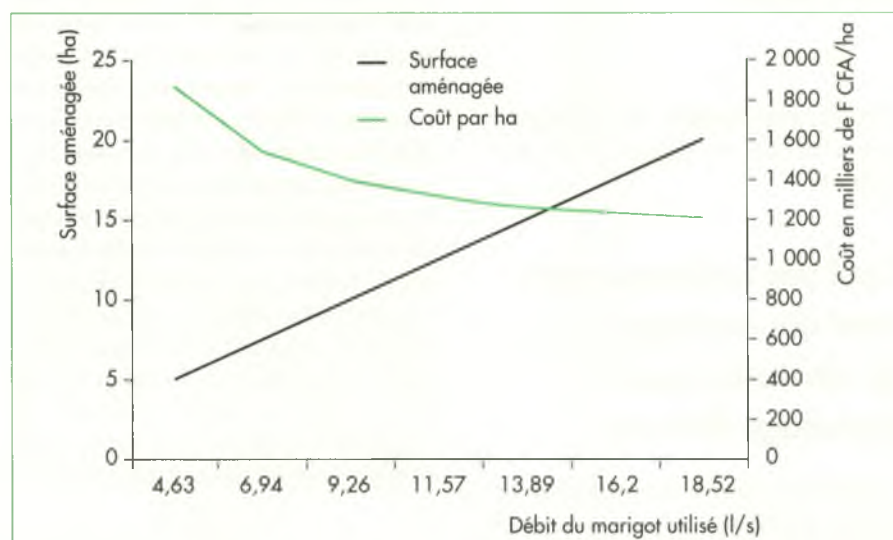


Figure 14. Coûts des aménagements de dérivation (largeur de la zone aménagée 200 m, profondeur du marigot 2 m, largeur du marigot 6 m).

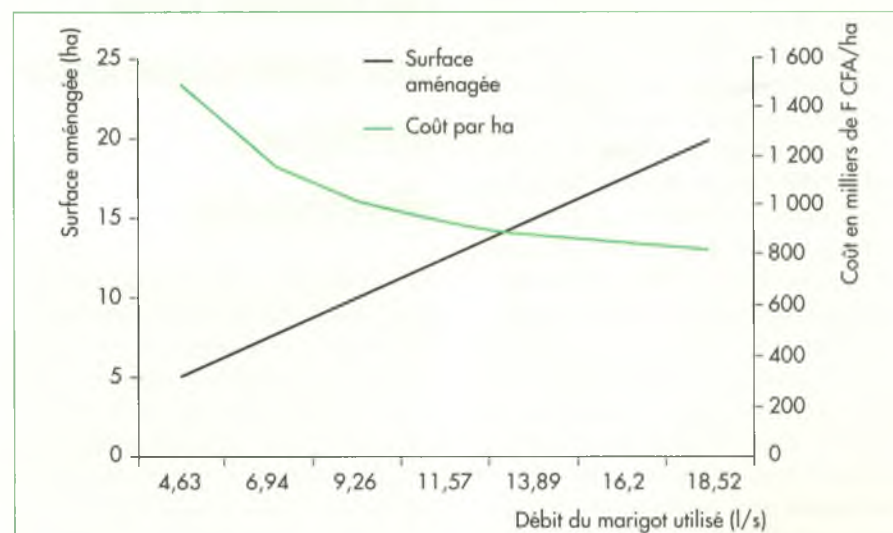


Figure 15. Coûts des aménagements de dérivation pour soutien de nappe (largeur de la zone aménagée 200 m, profondeur du marigot 2 m, largeur du marigot 6 m).

Le débit calculé des crues décennales (crues de projet) varie le plus souvent entre 20 et 70 m³/s, ce qui n'impose pas de caractéristiques spécifiques aux ouvrages. La digue déversante rizicole est composée d'un mur d'étanchéité en béton cyclopéen ou en maçonnerie, reposant sur une fondation. La hauteur de la digue peut varier entre 40 et 100 cm. Une tranchée d'étanchéité a pu être construite lorsque les caractéristiques physiques du milieu, plus particulièrement la perméabilité des sols, pouvaient faire craindre d'importantes pertes par infiltration. Un talus aval renforce l'ouvrage. La vidange et la gestion du niveau d'eau sont assurées par une vanne à batardeaux ou une vanne mécanique à glissière.

Sur les 177 ouvrages, 17, concernant 14 villages, ont été retenus pour former l'échantillon de test du Diarpa. Il s'agit de digues déversantes, que l'on peut regrouper en trois types : 11 digues déversantes (60 %) destinées principalement à la riziculture, 4 digues routes (22 %) d'une largeur en crête de 2 à 3 m permettant le passage de charrettes (voire de véhicules) et 2 digues pour l'abreuvement des cheptels, la hauteur étant supérieure à 1,5 m. Les 17 sites représentent une superficie aménagée d'environ 75 ha (moyenne : 4,4 ha par site) cultivée en grande partie avec du riz (75 %). Les 25 % restant sont destinés à l'arboriculture et au maraîchage. L'utilisation actuelle de ces bas-fonds correspond aux objectifs d'aménagement dans environ 70 % des cas. Les changements constatés concernent les activités de contre-saison (maraîchage et abreuvement).

Les sept indicateurs du Diarpa ont été évalués sur chacun des 17 sites, puis utilisés dans la grille de détermination du type d'aménagement. Il y a très peu de différence entre les valeurs des indicateurs du Diarpa sur les 17 sites (tableau 6). La profondeur de la couche perméable est toujours supérieure à 2 m, la pente longitudinale inférieure à 5 % et le débit de crue supérieur à 200 l/s par

mètre linéaire de largeur du bas-fond. L'indicateur de perméabilité d'ensemble a été estimé à partir de la granulométrie des profils des sols en place.

Comparaison entre les ouvrages réalisés sur le terrain et les recommandations du Diarpa

L'utilisation de la clé de détermination des types d'aménagement adaptés aux conditions des sites aboutit (tableau 7), dans 16 des 17 situations testées, à la conformité de l'aménagement issu du Diarpa avec celui qui a été réalisé. Pour apprécier la validité du choix de l'aménagement issu du Diarpa, le bon fonctionnement et l'efficacité hydraulique et agricole des ouvrages réalisés ont été évalués.

Cinq aménagements sont exploités avec satisfaction par les producteurs. La surface moyenne cultivée est de 7 ha par aménagement avec un coût moyen des aménagements de l'ordre de 500 000 francs CFA/ha. Trois des cinq aménagements ont été réalisés avec une tranchée d'étanchéité alors que le Diarpa ne le préconisait pas compte tenu de la valeur de la perméabilité du sol. Ces seuils déversants rizicoles construits avec une tranchée d'étanchéité non préconisée par le Diarpa ont également un bon comportement. Il n'est pas possible d'avancer que, sans tranchée d'étanchéité, ces ouvrages n'auraient pas fonctionné.

Six aménagements présentent des problèmes de gestion hydraulique malgré une bonne correspondance entre les recommandations du Diarpa et les aménagements construits. La hauteur importante des

digues déversantes (120 cm en moyenne) y entraîne une difficile gestion de la lame d'eau en amont de la digue et la riziculture est pratiquement impossible. Les superficies en riz sont assez faibles, de l'ordre de 4 ha par aménagement.

Cinq aménagements ne sont pratiquement pas exploités en agriculture : deux aménagements pour l'abreuvement des cheptels, une digue route, deux micro-aménagements de moins de 2 ha chacun. Les ouvrages à double vocation (agricole et désenclavement ou retenue) font l'objet d'une appréciation plus mitigée de la part des usagers, ces ouvrages sont mal entretenus et on peut penser que leurs superficies cultivables sont trop faibles pour intéresser les communautés villageoises.

Enfin, à Dié (dix-septième situation) où l'ouvrage fonctionne de

Tableau 6. Valeurs des sept paramètres du Diarpa relatives aux 17 aménagements du test au sud du Mali.

Sites	Perméabilité	Profondeur horizon imperméable (m)	Pente longitudinale (‰)	Axe d'écoulement	Débit de crue (l/s/ml)	Profondeur de la nappe début janvier (m)	Durée écoulement de base après saison des pluies (mois)
Balanfina	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	< 2	> 1
Bododougou I	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	< 2	> 1
Bododougou II	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	< 2	> 1
Die	$> 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	< 1
Djerila	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	< 2	< 1
Faraba	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	< 2	> 1
Faradie	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	> 1
Mamissa	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	< 1
Massamakana I	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	> 1
Massamakana II	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	> 1
Niakobougou	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	< 1
Niamala I	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	< 2	> 1
Niamala II	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Marqué	> 200	> 2	> 1
Ntomina	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	> 1
Sakoro I	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	< 1
Sakoro II	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	< 1
Sirina	$< 1.10^{-4}$	> 2	< 5	Pas marqué	> 200	> 2	< 1

Tableau 7. Comparaison technique et financière entre les ouvrages réalisés et ceux recommandés par le Diarpa, pour les 17 aménagements du test au sud du Mali.

Sites	Aménagements effectivement réalisés				Aménagements recommandés par Diarpa			Observations
	Type d'ouvrage	Tranchée d'étanchéité	Hauteur digue (cm)	Coût/ha réel (FCFA)	Type d'ouvrage	Tranchée d'étanchéité	Coût/ha simulé (FCFA)	
I- La recommandation du Diarpa est identique à l'ouvrage réalisé qui fonctionne de façon satisfaisante								
BODODOUGOU II	Digue déversante + route	Non	100	740 000	Digue déversante	Non	Digue route hors Diarpa	Conforme aux recommandations Diarpa
DJERILA	Digue déversante	Non	80	n. c.	Digue déversante	Non	noncalculé	
MASSAMAKANA I	Digue route	Oui	95	340 000	Digue déversante	Non	Hors Diarpa	Différence : tranchée d'étanchéité
MASSAMAKANA II	Digue déversante	Oui	95	380 000	Digue déversante	Non	300 000 *	
NTOMINA	Digue déversante	Oui	70	610 000	Digue déversante	Non	300 000 *	Différence : tranchée d'étanchéité
II- La recommandation du Diarpa est identique à l'ouvrage réalisé, qui montre des difficultés de gestion hydraulique								
BALANFINA	Digue déversante	Non	110	1 100 000	Digue déversante	Non	1 100 000	Les producteurs se plaignent de la difficile gestion hydraulique de l'aménagement. Ces difficultés sont liées à la lame d'eau trop importante (digue très haute) en amont de la digue, ce qui rend la riziculture pratiquement impossible.
FARABA	Digue déversante	Non	90	n. c.	Digue déversante	Non	-	
FARADIELE	Digue déversante	Non	145	1 700 000	Digue déversante	Non	1 150 000	
NIAKOBOUGOU	Digue route	Non	120	n. c.	Digue déversante	Non	Hors DIARPA	
SAKORO I	Digue déversante	Oui	120	1 100 000	Digue déversante	Non	1 300 000 *	
SAKORO II	Digue déversante	Oui	115	1 200 000	Digue déversante	Non	1 450 000 *	
III- La recommandation du Diarpa est identique à l'ouvrage réalisé pour lequel des problèmes de production agricole sont observés								
BODODOUGOU I	Digue déversante + abreuvement	Oui	75	Non connu	Digue déversante	Non	Abreuvement hors Diarpa	Soit les ouvrages ne sont pas à vocation agricole (abreuvement et route) soit les superficies aménagées sont trop petites (< à 2 ha), pour susciter un intérêt.
MAMISSA	Digue déversante	Non	40	340 000	Digue déversante	Non	350 000	
NIAMALA I	Digue déversante + route	Non	75	530 000	Digue déversante	Non	Digue route hors Diarpa	Les digues inventoriées ont été évaluées en très mauvais état
NIAMALA II	Digue déversante + abreuvement	Non	145	Non connu	Digue déversante	Non	Abreuvement hors Diarpa	
SIRINA	Digue déversante	Non	60 cm	830 000	Digue déversante	Non	1 350 000	
IV- Le Diarpa déconseille un aménagement et celui qui a été réalisé fonctionne de façon peu satisfaisante								
DIE	Digue déversante	Non	170 cm		Pas d'aménagement			Pas d'aménagement

* : les coûts par hectare estimés par le Diarpa sont ceux simulés pour un ouvrage identique à celui effectivement réalisé.
n. c. : non calculé.

façon peu satisfaisante, l'application du diagnostic rapide de pré-aménagement conclut à un non aménagement.

Comparaison entre le coût des ouvrages réalisés et les estimations du Diarpa

L'analyse des variations de coûts pour les différents types d'aménagement en fonction des seuils des indicateurs du Diarpa permet d'estimer les coûts théoriques des aménagements recommandés. La comparaison entre ces coûts et les coûts réels des aménagements des sites est également une forme de validation du Diarpa (figure 16, tableau 7). Cependant, elle n'a pu être faite pour les 17 situations : les digues routes et les digues d'abreuvement ont un surcoût du à leur double vocation, que le Diarpa ne prend pas en compte.

Conclusion

Les valeurs seuils des sept indicateurs du Diarpa ont été définies en fonction de leur incidence sur le choix du type des caractéristiques de l'aménagement et sur son coût. L'approche des coûts par hectare des principaux aménagements et

l'analyse des variations de ces coûts, en fonction des valeurs des indicateurs les plus sensibles, permettent d'intégrer un paramètre coût d'investissement. Le coût de l'aménagement recommandé peut ainsi être estimé ; des seuils limites ont été fixés pour les indicateurs au-delà desquels l'aménagement n'est plus conseillé sur le plan économique. On peut, en fonction des contextes, distinguer les impossibilités d'aménager, pour des raisons techniques ou socio-économiques, et ainsi déconseiller les aménagements lorsque les conditions du site (pentes des bas-fonds ou débit de crues) conduisent à des coûts trop élevés.

Bibliographie

ALBERGEL J., LAMACHERE J.-M., LIDON B., MOKADEM A., VANDRIEL W., 1993. Mise en valeur des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. Rapport final d'un projet Coraf-R3S, 355 p.

AHMADI N., BLANCHET F., SIMPARA M., TRAORE B., 1994. Mise en valeur des bas-fonds au Mali. Agriculture et développement 2 : 64-69.

BLANCHET F., TOURE M., MAHAMAM M., SANOGO I., 1996. Inventaire des aménagements de bas-fonds au Mali Sud. Outil d'analyse et de programmation régionale des actions de développement. In Actes du séminaire sur l'aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali, bilan et perspectives nationales, intérêt pour la zone

de savane ouest-africaine, AHMADI N., TEME B. (éditeurs), Sikasso, Mali, 21-25 octobre 1996. Colloques, Cirad, Montpellier, France, p. 165-170.

BLANCHET F., LIDON B., 1996. Logique de conception d'aménagements. Exemple de M'pégnesso. In Actes du séminaire sur l'aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali, bilan et perspectives nationales, intérêt pour la zone de savane ouest-africaine, AHMADI N., TEME B. (éditeurs), Sikasso, Mali, 21-25 octobre 1996. Colloques, Cirad, Montpellier, France, p. 201-214.

BLANCHET F., LIDON B., CISSE A., 1996. Aménagements de bas-fonds. Réduction et optimisation des coûts. In Actes du séminaire sur l'aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali, bilan et perspectives nationales, intérêt pour la zone de savane ouest-africaine, AHMADI N., TEME B. (éditeurs), Sikasso, Mali, 21-25 octobre 1996. Colloques, Cirad, Montpellier, France, p. 269-272.

BLANCHET F., MERGNA O., SANOGO O., TOURE M., TRAORE B., 1996. Rapport, projet, inventaire, validation. Unc Mali Consortium bas-fond, Bamako, Mali.

JAMIN J.-Y., WINDMEIJER P.N., MAHAMAM M., 1996. Diversité agro-écologique des savanes ouest-africaines et place des bas-fonds dans ces zones. Représentativité régionale des travaux effectués au Sud-Mali. Adrao, Consortium Bas-fonds, Bouaké, Côte d'Ivoire.

KALMS J.-M., AHMADI N., MARCON S., KASSOUGUE M., 1996. Diagnostic de pré-aménagement. Aspects socio-économiques. Séminaire Aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali. In Actes du séminaire sur l'aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali, bilan et perspectives nationales, intérêt pour la zone de savane ouest-africaine, AHMADI N., TEME B. (éditeurs), Sikasso, Mali, 21-25 octobre 1996. Colloques, Cirad, Montpellier, France.

LAMBERT B., LIDON B., BLANCHET F., MARAUX F., 1996. Les interactions entre aménagements sur un même bas-fond : position du problème et ébauche de modélisation. In Actes du séminaire sur l'aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali, bilan et perspectives nationales, intérêt pour la zone de savane ouest-africaine, AHMADI N., TEME B. (éditeurs), Sikasso, Mali, 21-25 octobre 1996. Colloques, Cirad, Montpellier, France, p. 223-229.

LAVIGNE DELVILLE P., BOUCHER L., 1998. Dynamique paysanne de la mise en valeur des bas-fonds en zones humides d'Afrique de l'Ouest. In compte rendu du colloque Quel avenir pour la riziculture de l'Afrique de l'Ouest, Bordeaux, France, 4-7 avril 1995. Colloques, Cirad, Montpellier, France.

LEGOUPIL J.-C., LIDON B., 1993. Quelle maîtrise de l'eau pour quelle intensification agricole des bas-fonds en Afrique de l'Ouest ? Les leçons des expériences passées. Les perspectives pour

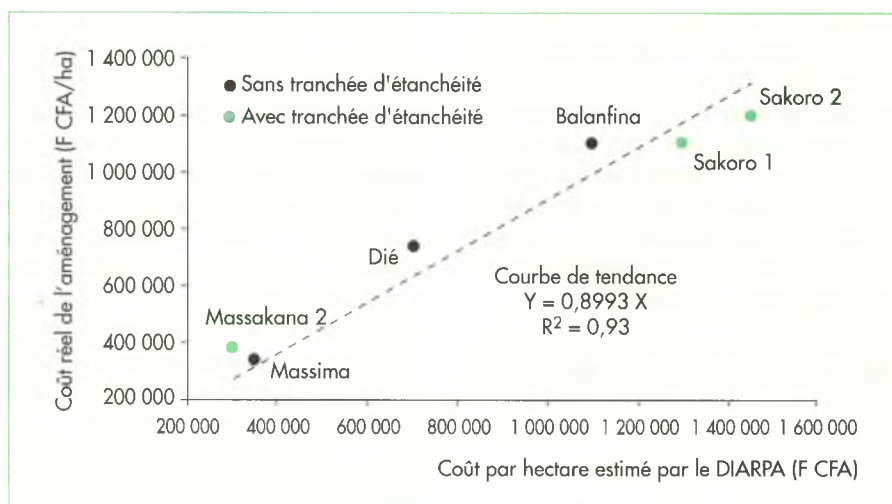


Figure 16. Comparaison entre coûts estimés par le Diarpa et coûts réels.

une nouvelle approche. In Actes du 1^{er} atelier annuel du Consortium bas-fond sur les recherches sur les bas-fonds en Afrique sub-saharienne. Priorités pour un Consortium régional, JAMIN J.-Y., ANDRIESSE W., THIOBIANO L., WINDMEIJER P.-N. (éditeurs), Bouaké, Côte d'Ivoire, 8-10 juin 1993. Adrao, Bouaké, Côte d'Ivoire, p. 45-60.

LEGOUPIL J.-C., LIDON B., JAMIN J.-Y., 1993. Appui au programme Cirad de mise en valeur et d'exploitation des bas-fonds au Sud Mali et Nord Ghana. Rapport de mission. Cirad Montpellier, France.

LEGOUPIL J.-C., LIDON B., 1995. La mise en valeur des bas-fonds en Afrique Sub-Sahélienne, un enjeu important lié à la connaissance des régimes hydriques de ces zones. In Actes du 3^e atelier annuel du Consortium bas-fonds sur la mise en valeur durable des bas-fonds en Afrique, premiers résultats du Consortium bas-fonds,

JAMIN J.-Y., WINDMEIJER P.-N. (éditeurs), Bouaké, Côte d'Ivoire, 23-24 mars 1995. Consortium bas-fonds, Adrao, Bouaké, Côte d'Ivoire, p. 71-81.

LEGOUPIL J.-C., LIDON B., BLANCHET F., 1995. Fonctionnement hydrique, aménagement et mise en valeur durable des zones de bas-fonds en Afrique. In Actes du 1^{er} atelier scientifique annuel du Consortium bas-fond sur la caractérisation des agrosystèmes de bas-fond : un outil pour leur mise en valeur durable, JAMIN J.-Y., WINDMEIJER P. N. (éditeurs), Bouaké, Côte d'Ivoire, 6-10 novembre 1995. Consortium bas-fonds, Adrao, Bouaké, Côte d'Ivoire, p. 47-76.

LEGOUPIL J.-C., LIDON B., BLANCHET F., 1996. Validation régionale d'un outil d'aide à l'aménagement des zones de bas-fonds : le diagnostic rapide de pré-aménagement (diarpa). In Actes du 4^e atelier annuel du Consortium bas-fonds sur la revue des résultats pour la mise en valeur des bas-fonds en Afrique de l'Ouest en 1995-1996,

JAMIN J.-Y., WINDMEIJER P.-N. (éditeurs), Bouaké, Côte d'Ivoire, 19-21 novembre 1996. Consortium bas-fonds, Adrao, Bouaké, Côte d'Ivoire, p. 115-136.

LEGOUPIL J.-C., LIDON B., MARAUX F., BLANCHET F. LAMMERT B., 1997. Etudes hydrologique et hydraulique des bas-fonds pour leur aménagement et l'intensification des systèmes de cultures. Communication présentée à l'atelier annuel 1997 du Consortium bas-fonds, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. Cirad, Montpellier, France, 33 p.

LIDON B., BLANCHET F., LEGOUPIL J.-C., 1996. Optimiser la conception d'un aménagement de bas-fond. Communication présentée à l'atelier Fao-Consortium bas-fonds, Cotonou, Bénin, janvier 1996. Cirad, Montpellier, France.

ROUILLE N., 1995. Modélisation du fonctionnement hydrologique du bas-fond de Nyankpala. Mémoire de fin d'études Ensee, Toulouse, France, Cirad, Montpellier, France, 45 p.

Résumé... Abstract... Resumen

B. LIDON, J.-C. LEGOUPIL, F. BLANCHET, M. SIMPARA, I. SANOGO — **Le diagnostic rapide de pré-aménagement (Diarpa). Un outil d'aide à l'aménagement des zones de bas-fonds.**

En Afrique sub-saharienne, les bas-fonds représentent un potentiel important pour une agriculture sécurisée et diversifiée. Cependant, les aménagements de bas-fonds sont souvent jugés peu opérationnels par les utilisateurs. Pour permettre une meilleure adaptation aux besoins des populations et aux contraintes du milieu, un outil d'aide à la décision, le diagnostic rapide de pré-aménagement, Diarpa, a été mis au point afin de définir le type et les caractéristiques des aménagements. Il s'appuie sur sept indicateurs qui sont, soit mesurés sur le site (perméabilité des sols, profondeur de l'horizon imperméable, pente longitudinale du bas-fond, profil de l'axe d'écoulement, écoulements de base, dynamique de la nappe), soit calculés (crue décennale rapportée à la largeur du bas-fond). Une clé d'utilisation de ces indicateurs permet de recommander le type d'aménagement le plus adapté. Le coût peut être évalué à partir des indicateurs ayant une incidence directe (débit de crue, largeur et pente du bas-fond) et intégré dans une analyse socio-économique tenant compte des impacts attendus et de la capacité des bénéficiaires à supporter les investissements et les charges récurrentes. Le Diarpa a été validé au sud du Mali pour les digues déversantes ; dans la zone soudanienne, c'est un outil opérationnel pour la planification des programmes de mise en valeur des bas-fonds et pour le choix de l'aménagement.

Mots-clés : aménagement, bas-fond, indicateur, topographie, hydrologie, pédologie, coût, Afrique, zone soudanienne.

B. LIDON, J.-C. LEGOUPIL, F. BLANCHET, M. SIMPARA, I. SANOGO — **Rapid pre-development diagnosis (DIARPA). A development aid for valley bottoms.**

Valley bottoms hold considerable promise for ensuring stable, diversified agriculture in sub-Saharan Africa. However, users often encounter operational difficulties. To ensure that development meets the needs of users and overcomes environmental constraints, a decision-making aid, rapid pre-development diagnosis (DIARPA), is now available to define the best type of development and identify the installations required. The aid is based on seven indicators which are either measured on site (soil permeability, depth of the impermeable horizon, longitudinal slope of the valley bottom, water course profile, basic flow rates, water table dynamics) or calculated (decennial flood level in relation to the width of the valley bottom). These indicators are used to recommend the most appropriate type of development. The cost can be evaluated from those indicators that have a direct influence (flood flow rate, valley bottom width and slope) and integrated into a socioeconomic analysis taking account of the expected impact and the ability of the beneficiaries to withstand investment costs and overheads. The DIARPA aid has been tested in Mali for overflow dykes; in the Sudanian zone, it is an operational aid in planning valley bottom development programmes and in choosing the type of development.

Keywords: development, valley bottom, indicator, topography, hydrology, pedology, cost, Africa, Sudanian zone.

B. LIDON, J.-C. LEGOUPIL, F. BLANCHET, M. SIMPARA, I. SANOGO — **El diagnóstico rápido pre-adequación (Diarpa). Una herramienta de ayuda a la adecuación de las zonas de hondonadas.**

En África sub-sahariana, las hondonadas representan un potencial importante para una agricultura diversificada y a la que se da seguridad. No obstante, los utilizadores juzgan a menudo poco operacionales las adecuaciones de hondonadas. Para permitir una mejor adaptación a las necesidades de las poblaciones y a las limitaciones del medio ambiente, una herramienta de ayuda a la decisión, el diagnóstico rápido de pre-adequación, Diarpa, fue puesto a punto a fin de definir el tipo y las características de las adecuaciones. Se fundamenta en siete indicadores que son, ya sea medidos en el sitio (permeabilidad de los suelos, profundidad del horizonte impermeable, declive longitudinal de la hondonada, perfil del eje de flujo, flujos básicos, dinámica del nivel freático), ya sea calculados (crecida decenal comparada con el ancho de la hondonada). Una llave de utilización de estos indicadores permite recomendar el tipo de adecuación más adaptada. El costo puede evaluarse a partir de los indicadores teniendo una incidencia directa (flujo de la crecida, ancho y declive de la hondonada) e integrado en un análisis socioeconómico teniendo en cuenta los impactos esperados y la capacidad de los beneficiarios a sufragar las inversiones y las cargas recurrentes. El Diarpa fue validado en el sur del Mali para los diques vertientes; en la zona sudanesa, es una herramienta operacional para la planificación de los programas de valorización de las hondonadas y para la elección de la adecuación.

Palabras-claves: adecuación, hondonada, indicador, topografía, hidrología, pedología, costo, África, zona sudanesa.